

高温潜熱アキュムレータを用いたソーラーランキン サイクルシステムに関する研究

著者	星 朗
号	2013
発行年	2001
URL	http://hdl.handle.net/10097/10820

氏名	ほし あきら
授与学位	星 朗
学位授与年月日	博士（工学）
学位授与の根拠法規	平成 14 年 3 月 13 日
最終学歴	学位規則第 4 条第 2 項
学位論文題目	昭和 62 年 3 月
論文審査委員	岩手大学大学院工学研究科機械工学専攻修了
	高温潜熱アキュムレータを用いた
	ソーラーランキンサイクルシステムに関する研究
	主査 東北大学教授 齋藤 武雄 東北大学教授 升谷 五郎
	東北大学教授 新岡 嵩 東北大学教授 圓山 重直

論文内容要旨

第 1 章 序 論

本論文では、太陽エネルギー利用で従来利用されていない 100～300℃の中温度領域を対象にしたソーラーランキンサイクルシステムを提案した。本システムは、ソーラーパルスタービン、潜熱エネルギー貯蔵アキュムレータ、および放物面集光型ソーラーコレクタの三要素から成り、発電だけでなく、暖房・給湯、殺菌・消毒、洗浄、蒸気供給や種々の動力源など、広汎な応用が可能で 21 世紀のエネルギー変換システムとして有望である。本論文は、このシステムの性能を実験的に検証し、実現可能性を示したもので、全編 5 章よりなる。

第 2 章 潜熱エネルギー貯蔵カプセル内の接触/自然対流複合融解

第 2 章では、任意内壁温度分布を有する球および円筒カプセル内の接触/自然対流複合融解について、解析結果および実験結果を示した。実用的に重要なエネルギー貯蔵タンク内のカプセル内接触融解では内壁温度に分布が生じていることに着目し、球および円筒カプセルについて内壁温度分布を与えた場合の一般的な接触融解について新たな近似解を示した。

図 2.1 に、カプセル内壁温度分布を考慮した場合としない場合の融解率の時間的変化の違いについて解析解による比較を示した。解析結果から、潜熱エネルギー貯蔵システムの設計にあたり、潜熱エネルギー貯蔵カプセル内壁の温度分布の影響を無視できないことを明らかにした。

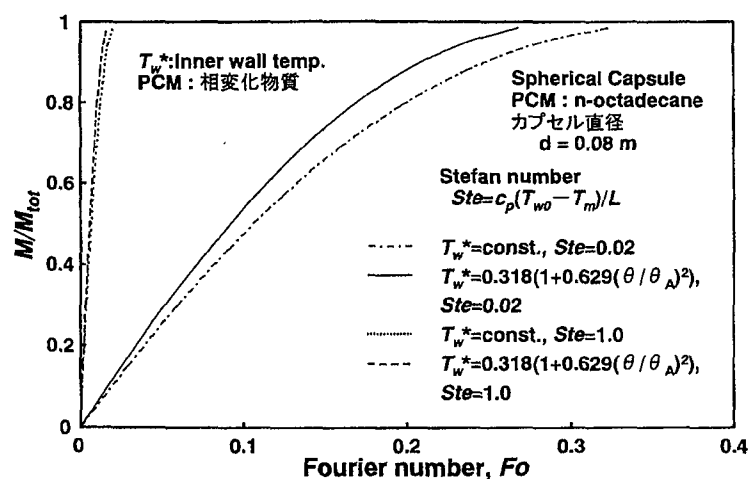


図 2.1 融解率(Molten fraction; M/M_{tot})に及ぼす内壁温度分布の影響

第3章 高温潜熱スチームアキュムレータ

第3章では、太陽エネルギー利用をターゲットとした中温潜熱エネルギー貯蔵システムに焦点を当て、潜熱エネルギー貯蔵型スチームアキュムレータに用いる高融点相変化物質(Phase change material ; PCM)の基本的熱物性について、性能評価に関する実験結果を示した。PCM のエネルギー貯蔵温度とエネルギー密度(図 3.1) およびコストの関係から、多価アルコール系物質が効果的であることを明らかにした。本研究で着目した多価アルコールのうち、代表としてマンニトール(Mannitol)について基本的な熱物性値の測定結果を、エリスリトール(Erythritol)と比較して表 3.1 に示す。また、多価アルコール系物質の代表としてマンニトールについて、過冷却度に影響を及ぼす因子の1つに重量があることを実験的に示した上で、硫酸カルシウムが過冷却防止剤として効果的であることを報告した。

表 3.1 マンニトールおよびエリスリトールの熱物性

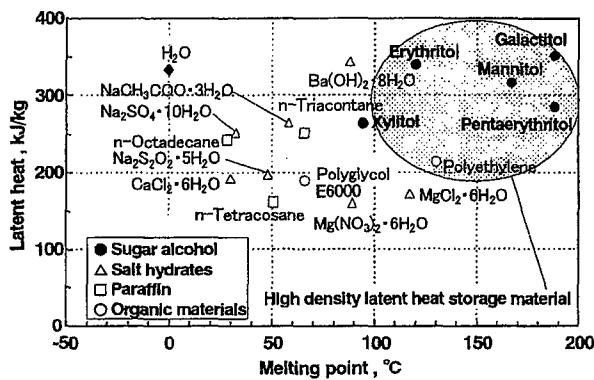


図 3.1 相変化物質の融点および潜熱

熱物性	単位	Mannitol	Erythritol*
融 点 T_m	°C	166.5	118.0
潜 熱 L	kJ/kg	303.7	315.0
比 熱 c_p	kJ/(kgK)	2.85 (at 180°C)	2.77 (at 140°C)
		1.52 (at 100°C)	1.39 (at 20°C)
熱伝導率 λ	W/(mK)	0.415 (at 170°C)	0.338 (at 140°C)
		0.491 (at 73°C)	0.576 (at 20°C)
密 度 ρ	kg/m ³	1386 (at 200°C)	1300 (at 140°C)
		1403 (at 28°C)	1480 (at 20°C)
動粘性係数 ν	m ² /s	2.84×10^{-4} (at 187°C)	—

l : liquid s : solid
*三菱化学エンジニアリング(株)のデータによる

第4章 ソーラーランキンサイクルシステム

第4章では、本研究で開発した潜熱エネルギー貯蔵型スチームアキュムレータをはじめ、Compound Parabolic Concentrator(CPC)型ソーラーコレクタおよび粘性／衝動複合型ソーラーパルスタービンの三大要素を組み込んだソーラーランキンサイクルシステムを構築して性能に関する実験結果を示すとともに、21世紀に有望な太陽エネルギー変換技術としての実現可能性を検討した。

図 4.1 に、太陽エネルギーなどの低温度差エネルギーを有効に使う技術として今回提案するソーラーランキンサイクルシステム(Solar Rankine Cycle System:SRCS)の概略を示す。提案するソーラーランキンサイクルシステムでは、発電をはじめとして暖房、給湯などの多機能・多用途化が図れるために、導入による効果が大きい。

図 4.2 には、本研究で開発した潜熱エネルギー貯蔵型スチームアキュムレータの概略図を示した。アキュムレータは、圧力容器であるステンレス製タンク本体と、内部に充填される PCM カプセルより構成される。PCM カプセルには高融点 PCM としてマンニトール(融点 166.5°C)に過冷却防止剤として硫酸カルシウムを 5wt% 添加したものを封入した。

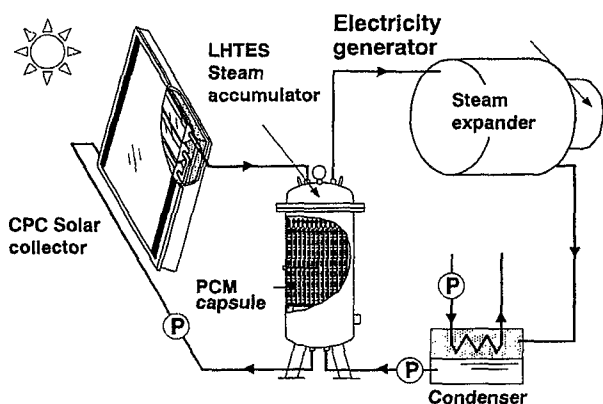


図 4.1 ソーラーランキンサイクルシステム

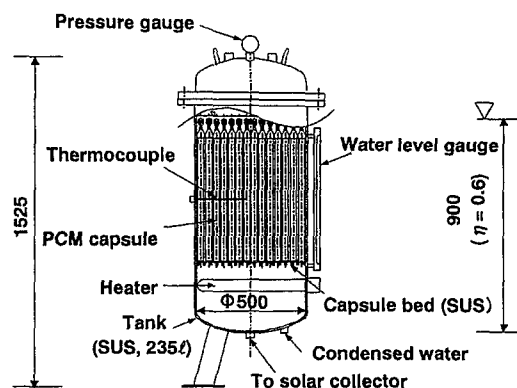


図 4.2 潜熱エネルギー貯蔵型アキュムレータ

また、本研究では、研究室で提案している寒冷地での使用や中温集熱の場合に効率の良い空気充填式 CPC (Compound Parabolic Concentrator: 複合放物面集光) 型ソーラーコレクタをベースに、中温集熱領域の効率を大幅に改善した CPC 型ソーラーコレクタを開発した。図 4.3 に本研究のソーラーランキンサイクルシステムで使った CPC 型ソーラーコレクタの概略図を示す。シンプルかつローコスト実現のために真空断熱などの特別な技術を用いることなく中温(100~300℃)を得ることができるというコンセプトのもとで開発を行った。

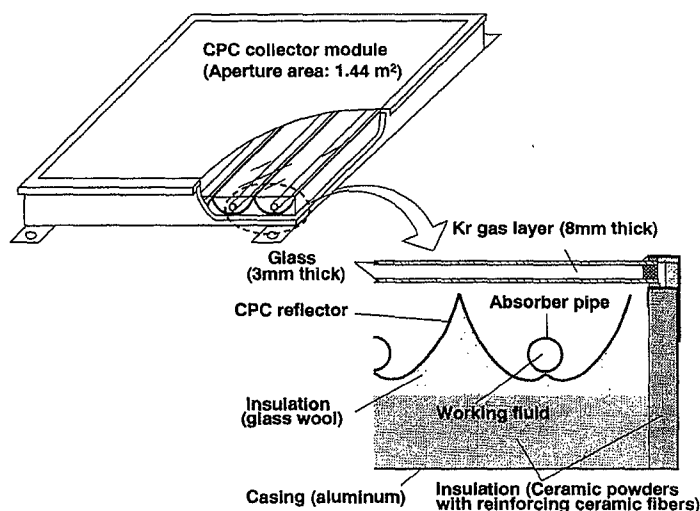


図 4.3 CPC 型ソーラーコレクタモジュール

なお、本 CPC 型ソーラーコレクタの集熱効率曲線を図 4.4 に示す。CPC 型ソーラーコレクタは非真空式にもかかわらず、従来の平板型および真空管型と比較して、格段に集熱効率が高いことがわかる。クリプトンガス封入複層ガラスを採用することによって、パラメータ $\Delta T/I$ が大きい範囲でも高い集熱効率を示すことから、ソーラーランキンサイクルシステムのような中温集熱への応用が可能である。また、本研究で提案した CPC ソーラーコレクタは寒冷地(東北・北海道)における適用が可能である。

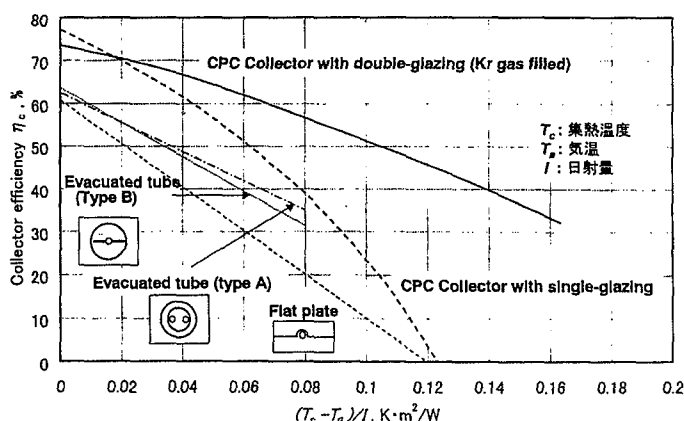


図 4.4 集熱効率曲線

第5章 結 論

本論文は、太陽エネルギーからふんだんに得られる 100～300℃の中温度範囲で稼働するエネルギー変換システムを提案し、プロトタイプシステムを設計・製作し、その実現可能性を実験的に検証したもので、以下に主な知見を示す。

- (1) 潜熱エネルギー貯蔵型スチームアキュムレータ、粘性・衝動複合型ソーラーパルスタービン、およびCPC型ソーラーコレクタを用いて構築されるソーラーランキンサイクルシステムを提案した。本システムは発電だけでなく、暖房・冷房・給湯、殺菌・消毒、洗浄や種々の動力源など広汎な応用が可能で、21世紀のエネルギー変換システムとして有望である。
- (2) 相変化物質のエネルギー貯蔵温度、エネルギー密度、およびコストの比較を行い、太陽エネルギー利用をコンセプトとした高温潜熱エネルギー貯蔵システムの相変化物質として多価アルコール系物質が効果的であることを示した。
- (3) マンニトールの過冷却度に影響を及ぼす因子の1つとして重量があることを示して、硫酸カルシウムが過冷却防止剤として効果的であることを報告した。
- (4) 潜熱エネルギー貯蔵型アキュムレータを提案し、実際に試作したアキュムレータを用いた性能試験結果から、従来の熱水によるアキュムレータと比較して2倍以上の発生蒸気量が得られることを示した。
- (5) 空気充填式CPC型ソーラーコレクタをベースに、さらにソーラーランキンサイクルシステムに適合するよう中温集熱領域の効率を大幅に改善したCPC型コレクタを開発した。また、東北・北海道など寒冷地においても高い集熱効率を有することを示した。
- (6) PCMカプセルにおける融解現象では内壁温度に分布が生じていることを指摘し、球および円筒カプセルに内壁温度分布を与えた場合について、有用な接触融解の近似解を提示した。

審査結果の要旨

化石燃料の代替エネルギーとして、また二酸化炭素(CO₂)による地球温暖化抑制への有力な手段として太陽エネルギーの利用が有望視されている。これまで太陽電池や太陽熱温水器などが開発され、一部実用に供されているが、いずれも発電効率や集熱効率が低く、コストと並んで普及への足枷となっている。本論文は、これらの問題を解決するため、従来利用されていない 100～300℃の中温度領域を対象にした新しいソーラーランキンサイクルシステムを提案し、三要素であるソーラーパルスタービン、潜熱アキュムレータ、および放物面集光型コレクタに関する成果をまとめたもので、全編 5 章よりなる。

第 1 章は序論であり、関連するこれまでのソーラー技術を概観し、太陽電池などに代わる新しいサーマルエレクトリック利用の必要性について総括し、本研究の目的と意義を述べている。

第 2 章では、潜熱アキュムレータの基礎となる、円筒カプセル内の接触/自然対流複合融解について、内壁温度が任意の分布を有する場合の解析を行って近似解を示し、また実験結果と対比している。これらは実用上有用な知見である。

第 3 章では、潜熱アキュムレータに用いる高融点相変化物質の基本的熱物性を調べ、その結果、多価アルコール系物質(たとえば、マンニトール)が有効であることを明らかにしている。これは、実用性の高い成果である。

第 4 章では、まず、太陽エネルギーの中温集熱を可能とする放物面集光(CPC)型ソーラーコレクタを新しく開発し、また、重要な要素であるスチームエキスパンダとして、粘性力と衝動力を複合して利用するパルスタービンを新規に開発し、CPC 型ソーラーコレクタおよび潜熱アキュムレータと組み合わせることにより、ソーラーランキンサイクルシステムを構築し、実験性能を明らかにするとともに、実用的なシステムの性能を予測し、実現可能性を示している。これは実用上極めて有用な結果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、太陽エネルギー利用の中温度領域における新しい利用形態を提案し、実験等により、その性能および有効性を明らかにし、太陽エネルギー利用の新機軸を拓いたもので、機械工学および太陽エネルギー工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。